

# VYZTUŽOVÁNÍ PORUCHOVÝCH OBLASTÍ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE: NÁVRH VYZTUŽENÍ ŽELEZOBETONOVÉHO VAZNÍKU S MALÝM OTVOREM



**Projekt:** Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce  
**Dílní část:** Návrh vyztužení železobetonového vazníku s malým otvorem  
**Vypracoval:** Ing. Josef Novák, Ph.D. a kolektiv  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Thákurova 7, Praha 6 - Dejvice  
**Podpora:** Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky  
Karmelitská 529/5, 118 12 Praha 1  
**Datum:** 2017



## Obsah

Obsah.....	- 1 -
Seznam použitých symbolů.....	- 2 -
1 Úvod.....	- 4 -
2 Železobetonový vazník s malým otvorem .....	- 5 -
2.1 Zadání.....	- 5 -
2.1.1 Geometrie.....	- 5 -
2.1.2 Vnitřní síly.....	- 6 -
2.1.3 Vlastnosti materiálu .....	- 6 -
2.2 Ohybová únosnost plného průřezu .....	- 6 -
2.3 Únosnost tlačené diagonály plného průřezu .....	- 7 -
2.4 Návrh smykové výztuže v oblasti otvoru.....	- 8 -
Reference.....	- 12 -



## Seznam použitých symbolů

$a$	Šířka vzpěry ve styčnicku
$b_1$	Šířka stojiny průřezu
$b_2$	Šířka pásnice průřezu
$b_{eff}$	Maximální šířka oblasti příčných tahů
$b_o$	Šířka otvoru
$c_1$	Šířka betonové vzpěry
$d$	Účinná výška průřezu
$d_1$	Vzdálenost těžiště ohybové výztuže k taženému povrchu průřezu
$e_1$	Šířka táhla
$f_d$	Návrhová hodnota liniového zatížení včetně vlastní tíhy
$f_{ywd}$	Návrhová hodnota meze kluzu smykové výztuže
$h$	Celková výška průřezu
$h_o$	Výška otvoru
$h_1$	Výška stojiny průřezu
$h_2$	Výška pásnice průřezu
$h_d$	Výška dolního pásu
$h_{d,vz}$	Délka dolní části betonové vzpěry
$h_h$	Výška horního pásu
$h_{h,vz}$	Délka horní části betonové vzpěry
$l$	Osové rozpětí vazníku
$s_l$	Minimální světlá vzdálenost mezi výztuží
$x$	Výška tlačené části průřezu
$x_o$	Vzdálenost osy otvoru od podpory
$z$	Rameno vnitřních sil
$z_1$	Vzdálenost těžiště průřezu stojiny k tlačnému okraji průřezu
$z_2$	Vzdálenost těžiště průřezu pásnice k tlačnému okraji průřezu
$z_c$	Vzdálenost těžiště idealizovaného průběhu napětí od těžiště průřezu
$z_s$	Vzdálenost těžiště tažené výztuže k těžišti plného průřezu
$z_{T,d}$	Vzdálenost těžiště průřezu k jeho dolnímu okraji
$z_{T,h}$	Vzdálenost těžiště průřezu k jeho hornímu okraji
$A$	Celková plocha průřezu
$A_1$	Plocha průřezu stojiny
$A_2$	Plocha průřezu pásnice
$A_{s1,prov}$	Navržená plocha výztuže táhla
$A_{s1,req}$	Požadovaná plocha výztuže táhla
$A_{sdh,req}$	Požadovaná plocha horizontální výztuže za otvorem
$A_{sdv,req}$	Požadovaná plocha svislých třmínků za otvorem



$A_{s,prov}$	Navržená plocha tažené ohybové výztuže
$A_{s,req}$	Požadovaná plocha ohybové výztuže
$A_{shh,req}$	Požadovaná plocha horizontální výztuže nad otvorem
$A_{shv,req}$	Požadovaná plocha svislých třmínek nad otvorem
$D_{max}$	Maximální velikost zrna kameniva
$F_c$	Tlaková síla působící v horním tlačném pásu
$F_{c,Rd}$	Únosnost v tlaku horního tlačného pásu
$F_t$	Síla působící v taženém pásu
$F_{t1}$	Síla v táhlu před otvorem
$F_{vz,c}$	Tlaková síla v betonové vzpěře
$M_{Ed}$	Návrhová hodnota maximálního ohybového momentu na vazníku
$M_{Ed,vz}$	Návrhová hodnota ohybového momentu ve střední části betonové vzpěry
$N_{Ed,vz}$	Návrhová hodnota normálové síly ve střední části betonové vzpěry
$T_d$	Příčná tahová síla v dolní části betonové vzpěry
$T_h$	Příčná tahová síla v horní části betonové vzpěry
$V_{Ed}$	Návrhová hodnota maximální posouvající síly na vazníku
$V_{Ed1}$	Návrhová hodnota posouvající síly působící v lici před prostupem
$V_{Ed2}$	Návrhová hodnota posouvající síly působící v lici za prostupem
$V_{Ed,vz}$	Návrhová hodnota posouvající síly ve střední části betonové vzpěry
$\alpha$	Úhel sklonu tlačené diagonály
$\alpha_1$	Pomocný úhel
$\alpha_2$	Pomocný úhel
$\nu$	Součinitel vyjadřující vliv přídavných namáhání
$\sigma_c$	Hodnota napětí v betonové vzpěře
$\sigma_{Rd,max}$	Návrhové napětí na mezi únosnosti tlačené betonové vzpěry při vzniku příčných trhlin

## 1 Úvod

Poruchy staveb se často objevují v lokálních oblastech konstrukce, kde dochází k vysokému namáhání prvků a nelineárnímu přetvoření průřezů. U prefabrikovaných a monolitických železobetonových konstrukcí se běžně můžeme setkat s nosníky, ve kterých jsou provedené prostupy pro vedení instalací. Z důvodu náhlé změny průřezu dochází v oblasti otvoru k nelineárnímu průběhu vnitřních sil na průřezu. Využití běžných výpočetních metod založených na Bernoulli-Navierovo hypotéze pro řešení takových úloh je limitované. Cílem této zprávy je poskytnout základní podklady pro návrh smykové výztuže železobetonového vazníku v oblasti otvoru při využití příhradové analogie. Pro nosníky s malými otvory se používá jeden univerzální model náhradní příhradoviny. Postup návrhu smykové výztuže je následující:

- 1) Ověřit polohu otvoru na průřezu, aby nezasahovala do tlačené části průřezu a tažené výztuže. Navíc výška horního a dolního pásu nad a pod otvorem musí být minimálně 120 mm, aby bylo možné průřezy pásů vyztužit běžnou betonářskou výztuží.
- 2) Ověřit únosnost tlačené diagonály plného průřezu, aby bylo možné navrhnout smykovou výztuž.
- 3) Návrh smykové výztuže v oblasti otvoru:
  - a. Návrh výztuže a šířky táhla před prostupem
  - b. Ověření únosnosti betonové vzpěry
  - c. Ověření únosnosti tlačného a taženého pásu
  - d. Návrh výztuže zachycující příčné tahy v betonové vzpěře

Další příklady a informace k návrhu smykové výztuže železobetonového vazníku v oblasti otvoru lze dohledat v českých [1] a zahraničních [2,3] publikacích.



## 2 Železobetonový vazník s malým otvorem

### 2.1 Zadání

Navrhněte smykovou výztuž železobetonového trámu v oblasti kruhového otvoru o průměru 200 mm umístěného ve stojině trámu. Železobetonový vazník působí jako prostý nosník s osovým rozpětím 12 m a je vystaven liniovému zatížení s návrhovou hodnotou 25 kN/m včetně vlastní tíhy. Ohybová výztuž železobetonového vazníku se skládá z osmi profilů o průměru 25 mm rovnoměrně rozdělených do čtyř řad. Železobetonový vazník je navržen z betonu C45/55 a betonářské výztuže B500B.

#### 2.1.1 Geometrie

$b_1 = 120 \text{ mm}$  šířka stojiny průřezu

$b_2 = 250 \text{ mm}$  šířka pásnice průřezu

$h = 800 \text{ mm}$  celková výška průřezu

$h_1 = 680 \text{ mm}$  výška stojiny průřezu

$h_2 = 120 \text{ mm}$  výška pásnice průřezu

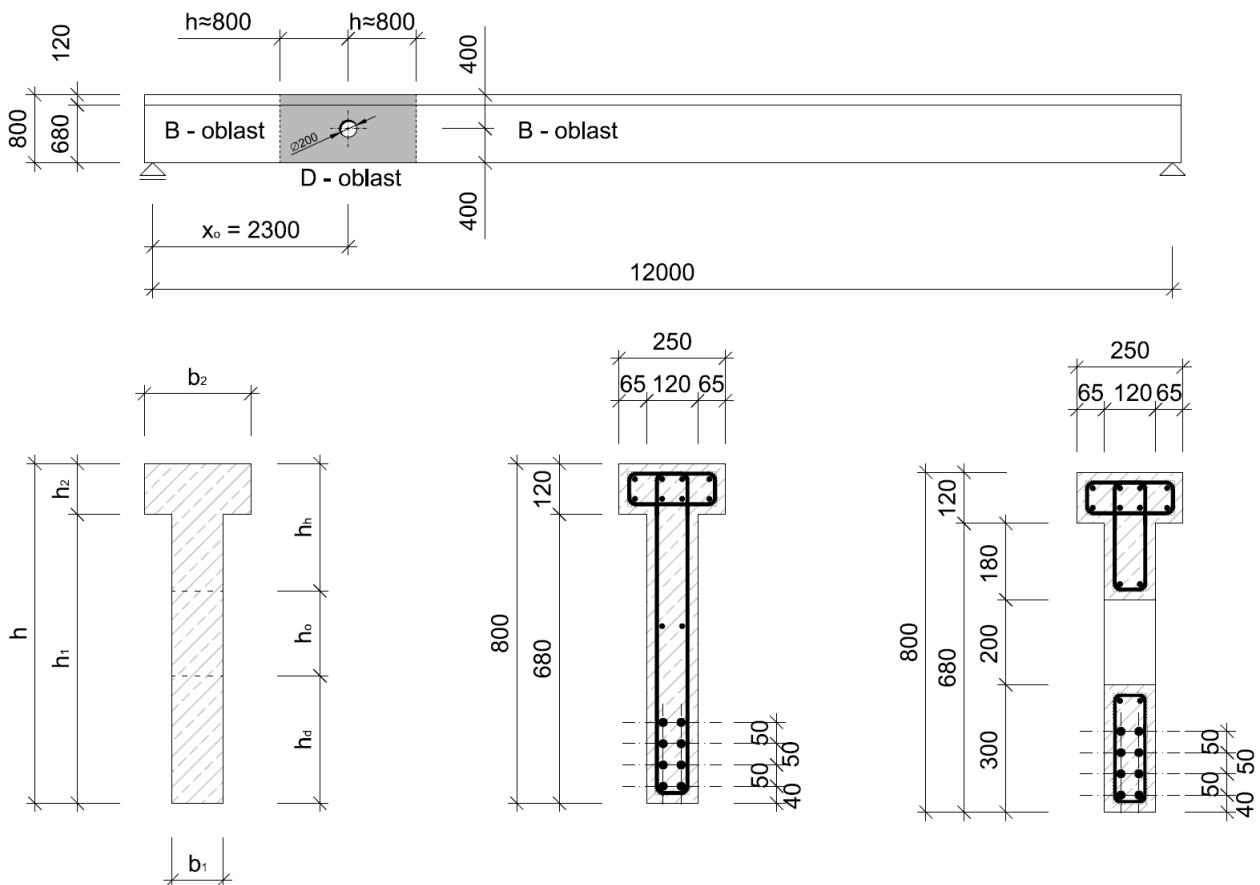
$h_o = 200 \text{ mm}$  výška otvoru

$b_o = 200 \text{ mm}$  šířka otvoru

$l = 12\,000 \text{ mm}$  rozpětí vazníku

$h_h = 300 \text{ mm}$  výška horního pásu

$h_d = 300 \text{ mm}$  výška dolního pásu



Obr. 1 Železobetonový nosník s malým otvorem

## 2.1.2 Vnitřní síly

$$f_d = 25 \text{ kN/m} \text{ návrhová hodnota liniového zatížení včetně vlastní tíhy}$$

$$V_{Ed} = 1/2 \cdot f_d \cdot l = 1/2 \cdot 25 \cdot 12 = 150 \text{ kN} \text{ návrhová hodnota maximální posouvající síly na vazníku}$$

$$V_{Ed,1} = V_{Ed} - f_d \cdot 2,4 = 150 - 25 \cdot 2,4 = 90 \text{ kN} \text{ návrhová hodnota posouvající síly působící v lici před prostupem}$$

$$V_{Ed,2} = V_{Ed} - f_d \cdot 2,2 = 150 - 25 \cdot 2,2 = 95 \text{ kN} \text{ návrhová hodnota posouvající síly působící v lici za prostupem}$$

$$M_{Ed} = 1/8 \cdot f_d \cdot l^2 = 1/8 \cdot 25 \cdot 12^2 = 450 \text{ kNm} \text{ návrhová hodnota maximálního ohybového momentu na vazníku}$$

## 2.1.3 Vlastnosti materiálu

### 2.1.3.1 Beton C45/55

$$f_{ck} = 45 \text{ MPa} \text{ charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu tlaku}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_{Mc} = 45 / 1,5 = 30 \text{ MPa} \text{ návrhová hodnota válcové pevnosti betonu tlaku}$$

$$f_{cm} = 53 \text{ MPa} \text{ střední hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku}$$

$$f_{ct,0,05} = 2,7 \text{ MPa} \text{ charakteristická hodnota pevnosti betonu v osovém tahu}$$

$$f_{ctm} = 4,9 \text{ MPa} \text{ střední hodnota pevnosti betonu v osovém tahu}$$

$$E_{cm} = 36\,000 \text{ MPa} \text{ modul pružnosti}$$

### 2.1.3.2 Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \text{ charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{Ms} = 500 / 1,15 = 434,7 \text{ MPa} \text{ návrhová hodnota meze kluzu betonářské výztuže}$$

$$f_{y,wd} = f_{yd} = 434,7 \text{ MPa} \text{ návrhová hodnota meze kluzu smykové výztuže}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa} \text{ modul pružnosti betonářské výztuže}$$

$$A_{s,prov} = 1963 \text{ mm}^2 \text{ navržená plocha tažené ohybové výztuže}$$

$$\cot \theta = 1,5 [-] \text{ kotangens úhlů sklonu tlačných diagonál}$$

## 2.2 Ohybová únosnost plného průřezu

Nejprve musíme ověřit, zda poloha otvoru nezasahuje do tlačené části průřezu. Pro výpočet výšky tlačené části a ohybové únosnosti plného průřezu uvažován jednostranně vyztužený průřez s taženou betonářskou výztuží  $8 \times \emptyset 25 \text{ mm}$  ( $A_s = 1963 \text{ mm}^2$ ).

$$d = h - d_1 = 800 - 115 = 685 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_2 \cdot f_{cd}} = \frac{1\,963 \cdot 434,7}{0,8 \cdot 250 \cdot 30} = 142 \text{ mm} > h_2 = 120 \text{ mm}$$



Ačkoliv výška tlačené části průřezu zasahuje do stojiny průřezu, idealizovaný průběh napětí je rozložen pouze v pásnici průřezu (Obr.2). Šířka stojiny a pásnice se navíc výrazně neliší a proto lze pro další výpočet uvažovat se stanovenou výškou tlačené části průřezu  $x = 142 \text{ mm}$ . Pak je otvor v železobetonovém vazníku umístěn takovým způsobem, že nezasahuje do tlačené části průřezu a jeho polohu není zapotřebí měnit.

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{142}{685} = 0,207 [-] \leq \xi_{lim} = 0,45[-]$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 685 - 0,4 \cdot 142 = 628 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1963 \cdot 434,7 \cdot 628 = 535 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 450 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

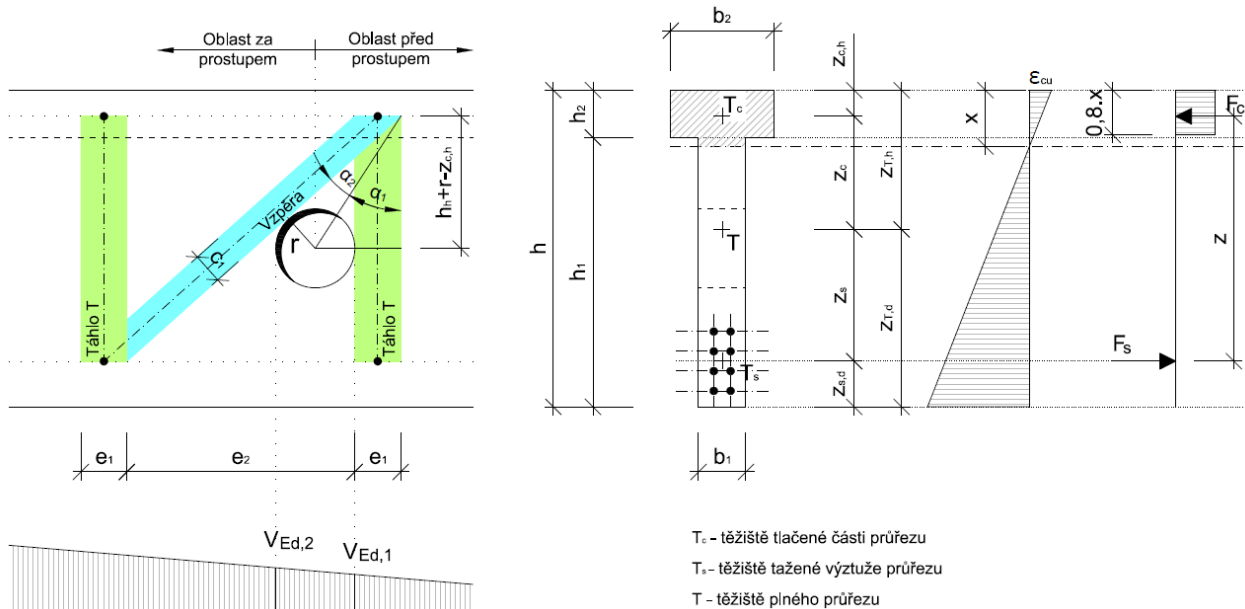
### 2.3 Únosnost tlačené diagonály plného průřezu

Pro návrh smykové výztuže pro oblast s otvorem je zapotřebí ověřit únosnost tlačené diagonály plného průřezu podle následujícího vztahu:

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_1 \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,492 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 628 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 513 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 150 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{45}{250}\right) = 0,492 [-]$$

Únosnost tlačené diagonály plného průřezu je vyšší než maximální návrhová hodnota posouvající síly působící na vazníku - při působení maximální posouvající síly nedojde k porušení prvku drcením betonu a lze tak pokračovat v návrhu smykové výztuže v oblasti otvoru.



Obr. 2 Zjednodušený model náhradní příhradoviny pro oblast s otvorem



## 2.4 Návrh smykové výztuže v oblasti otvoru

Výztuž táhla před prostupem závisí na velikosti posouvající síly působící v daném místě a měla by obsahovat nejméně dva třmínky.

$$V_{Ed1} = 90 \text{ kN} \quad \text{návrhová hodnota posouvající síly působící v lici před prostupem}$$

$$V_{Ed2} = 95 \text{ kN} \quad \text{návrhová hodnota posouvající síly působící v lici za prostupem}$$

$$A_{s1,req} = \frac{F_{t1}}{f_{y,wd}} = \frac{|V_{Ed1}|}{f_{y,wd}} = \frac{|90\,000|}{434,7} = 207 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha výztuže táhla}$$

$$A_{s1,prov} = 3 \cdot 2 \cdot 50,3 = 302 \text{ mm}^2 \quad \text{navržená plocha výztuže táhla: tři dvou-střižné třmínky profilu 8 mm}$$

$$A_{s1,prov} = 302 \text{ mm}^2 \geq A_{s1,req} = 207 \text{ mm}^2$$

OK

Hodnota minimální šířky táhla  $e_{1,min}$  se stanoví na základě navržených třmínků a minimální světlé vzdálenosti mezi smykovou výztuží. Šířka táhla se rovná vzdálenosti vnějších líců třmínků táhla.

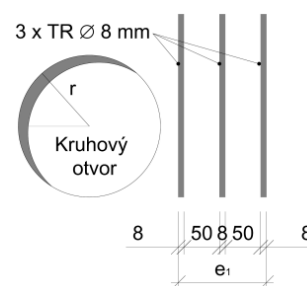
$$s_{l,min} \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot \varnothing; D_{max} + 5 \text{ mm})$$

$$s_{l,min} \geq \max(20 \text{ mm}; 1,2 \cdot 8; 16 + 5 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = 3 \cdot \varnothing_{sw} + 2 \cdot s_{l,min} = 3 \cdot 8 + 2 \cdot 21 = 66 \text{ mm}$$

$$e_1 = 3 \cdot 8 + 2 \cdot 50 = 124 \text{ mm}$$

$$e_1 = 124 \text{ mm} \geq e_{1,min} = 66 \text{ mm}$$



OK

Podle uvažovaného výpočetního modelu (Obr.2) se stanoví úhel sklonu tlačené diagonály  $\alpha$ , jehož hodnota podle ČSN EN 1992-1-1 [4] musí být v rozmezí od  $21,8^\circ$  do  $45^\circ$ . Hodnotu úhlu  $\alpha$  lze snížit posunutím otvoru k tlačnému okraji průřezu.

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{e_1 + r}{h_h - 0,4 \cdot x + r}\right) = \arctg\left(\frac{124 + 100}{300 - 0,4 \cdot 142 + 100}\right) = 33,1^\circ$$

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{r}{\sqrt{(e_1 + r)^2 + (h_h - 0,4 \cdot x + r)^2}}\right) = \arcsin\left(\frac{100}{\sqrt{(124 + 100)^2 + (300 - 0,4 \cdot 142 + 100)^2}}\right) = 14,1^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ - (\alpha_1 + \alpha_2) = 90^\circ - (33,1^\circ + 14,1^\circ) = 42,8^\circ$$

$$21,8^\circ \leq \alpha = 42,8^\circ \leq 45^\circ$$

OK

Pro získanou hodnotu úhlu alfa se stanoví šířka betonové vzpěry a ověří se hodnota napětí v betonové vzpěře.

$$c_1 = e_1 \cdot \sin \alpha = 124 \cdot \sin 42,13^\circ = 84 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{V_{Ed1}}{b_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha} = \frac{90\,000}{120 \cdot 84 \cdot \sin 42,8^\circ} = 13,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 0,82 \cdot 30 = 14,7 \text{ MPa}$$

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{45}{250} = 0,82 [-]$$

$$\sigma_{Rd,max} = 14,7 \text{ MPa} \geq \sigma_c = 13,1 \text{ MPa}$$

Rovněž se ověří hodnota tahové síly  $F_t$  a tlakové síly  $F_c$  působící v dolním taženém pásu a v horním tlačném pásu. Aby bylo možné vyčíslit uvedené síly, nejdříve se musí stanovit těžiště plného průřezu a vnitřní síly působící ve střední části betonové vzpěry.

$$z_1 = (h_1/2) + h_2 = (680/2) + 120 = 460 \text{ mm}$$

$$z_2 = h_2/2 = 120/2 = 60 \text{ mm}$$

$$A_1 = h_1 \cdot b_1 = 680 \cdot 120 = 81\,600 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = h_2 \cdot b_2 = 120 \cdot 250 = 30\,000 \text{ mm}^2$$

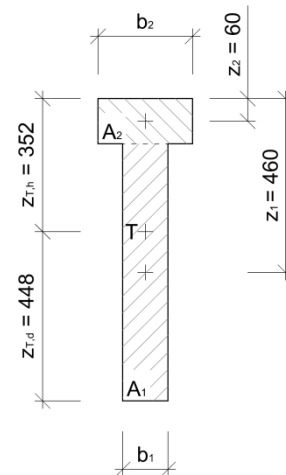
$$A = A_1 + A_2 = 81\,600 + 30\,000 = 111\,600 \text{ mm}^2$$

$$z_{T,h} = \frac{A_1 \cdot z_1 + A_2 \cdot z_2}{A} = \frac{81\,600 \cdot 460 + 30\,000 \cdot 60}{111\,600} = 352 \text{ mm}$$

$$z_{T,d} = h - z_{T,h} = 448 \text{ mm}$$

$$z_s = z_{T,d} - d_1 = 448 - 115 = 333 \text{ mm}$$

$$z_c = z_{T,h} - 0,4 \cdot x = 352 - 0,4 \cdot 142 = 296 \text{ mm}$$



$$e_1 + e_2 = z/\tan \alpha = 628/\tan 42,8^\circ = 680 \text{ mm} \quad \text{přodorysná délka betonové vzpěry}$$

$$e_2 = 680 - e_1 = 680 - 124 = 556 \text{ mm}$$

$$M_{Ed,vz} = V_{Ed} \cdot \left(x_o + r - \frac{e_2}{2}\right) - f_d \cdot \frac{\left(x_o + r - \frac{e_2}{2}\right)^2}{2} \quad \text{ohybový moment ve střední části betonové vzpěry}$$

$$M_{Ed,vz} = 150 \cdot \left(2,3 + 0,1 - \frac{0,556}{2}\right) - 25 \cdot \frac{\left(2,3 + 0,1 - \frac{0,556}{2}\right)^2}{2} = 262 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,vz} = V_{Ed,1} + f_d \cdot \frac{e_2}{2} = 90 + 25 \cdot \frac{0,556}{2} = 97 \text{ kN} \quad \text{posouvající síla ve střední části betonové vzpěry}$$

Nyní se ověří únosnost dolního taženého pásu a horního tlačného pásu.

$$F_t = \frac{M_{Ed,vz} + N_{Ed,vz} \cdot z_s}{z} + \frac{V_{Ed,vz}}{\tan \alpha} + N_{Ed,vz} = \frac{262 + 0,0333}{0,628} + \frac{97}{\tan 42,8^\circ} + 0 = 522 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{522\,000}{434,8} = 1200 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 1963 \text{ mm}^2 \geq A_{s,req} = 1200 \text{ mm}^2$$

$$F_c = -\frac{M_{Ed,vz} + N_{Ed,vz} \cdot z_c}{z} - \frac{V_{Ed,vz}}{\tan \alpha} = -\frac{262 + 0,0,291}{0,628} - \frac{97}{\tan 42,8^\circ} = -522 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 0,8 \cdot x \cdot b_2 \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 628 \cdot 250 \cdot 30 = 853 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = 853 \text{ kN} \geq |F_c| = 520 \text{ kN}$$

V dalším kroku se navrhne výztuž zachycující příčné tahy v betonové vzpěře. Při návrhu výztuže se musí respektovat, že největší příčné tahy vznikají ve čtvrtinách délky betonové vzpěry. Uvedené vztahy pro výpočet příčných tahových sil jsou platné pro úplně nespojitě oblasti [1], kde  $b > h/2$ .

$$F_{vz,c} = \frac{V_{Ed1}}{\sin \alpha} = \frac{90}{\sin 42,8^\circ} = 132 \text{ kN} \quad \text{tlaková síla v betonové vzpěře}$$

$$a = e_1 \cdot \sin \alpha = 124 \cdot \sin 42,8^\circ = 84 \text{ mm} \quad \text{šířka vzpěry ve styčnicku}$$

$$h_{h,vz} = \frac{r}{\tan \alpha_2} = \frac{100}{\tan 14,1^\circ} = 398 \text{ mm} \quad \text{délka horní části betonové vzpěry}$$

$$2T_h = 2 \cdot F_{vz,c} \cdot \frac{\left(1 - 0,7 \cdot \frac{a}{\frac{h_{h,vz}}{2}}\right)}{4} = 2 \cdot 132 \cdot \frac{\left(1 - 0,7 \cdot \frac{0,084}{\frac{0,398}{2}}\right)}{4} = 46,7 \text{ kN} \quad \text{příčné tahové síly v horní části bet. vzpěry}$$

Pro oblast nad otvorem navržen jeden dvou-střížný třmínek profilu 8 mm ( $A_{sv,prov} = 101 \text{ mm}^2$ )

$$A_{shv,req} = 2T_h \cdot \frac{\sin \alpha}{f_{yd}} = 46,7 \cdot \frac{\sin 42,8^\circ}{434} = 73 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha svislých třmíneků nad otvorem}$$

Pro oblast nad otvorem navržený dva horizontální pruty profilu 8 mm ( $A_{sh,prov} = 101 \text{ mm}^2$ )

$$A_{shh,req} = 2T_h \cdot \frac{\cos \alpha}{f_{yd}} = 46,7 \cdot \frac{\cos 42,8^\circ}{434} = 79 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha horizontální výztuže nad otvorem}$$

$$h_{d,vz} = \frac{z}{\cos(\alpha_1 + \alpha_2)} - h_{h,Fc1} = \frac{628}{\cos(33,1 + 14,1)} - 398 = 528 \text{ mm} \quad \text{délka dolní části tlačené betonové vzpěry}$$

$$2T_d = 2 \cdot F_{vz,c} \cdot \frac{\left(1 - 0,7 \cdot \frac{a}{\frac{h_{d,vz}}{2}}\right)}{4} = 2 \cdot 132 \cdot \frac{\left(1 - 0,7 \cdot \frac{0,084}{\frac{528}{2}}\right)}{4} = 51,5 \text{ kN} \quad \text{příčné tahové síly v dolní části bet. vzpěry}$$

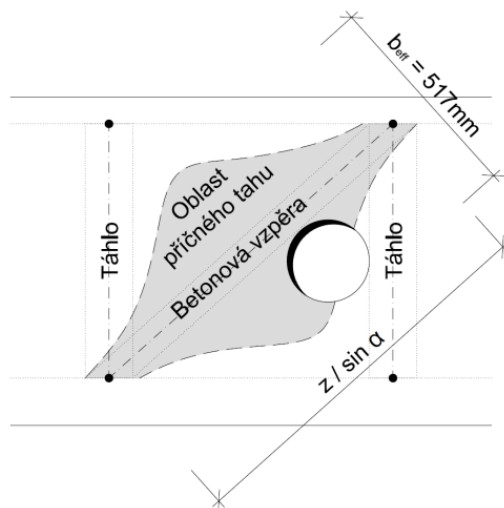
Pro oblast za otvorem postačí jeden dvou-střížný třmínek profilu 8 mm ( $A_{sv,prov} = 101 \text{ mm}^2$ ). Z praktického hlediska však navrhne dva dvou-střížné třmínky profilu 8 mm, které budou rovnoměrně rozloženy po celé dolní části betonové diagonály.

$$A_{sdv,req} = 2T_d \cdot \frac{\sin \alpha}{f_{yd}} = 51,5 \cdot \frac{\sin 42,8^\circ}{434} = 80 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha svislých třmíneků za otvorem}$$

Pro oblast za otvorem postačí dva horizontální pruty profilu 8 mm ( $A_{sh,prov} = 101 \text{ mm}^2$ ).

$$A_{sdh,req} = 2T_d \cdot \frac{\cos \alpha}{f_{yd}} = 51,5 \cdot \frac{\cos 42,8^\circ}{434} = 87 \text{ mm}^2 \quad \text{požadovaná plocha horizontální výztuže za otvorem}$$

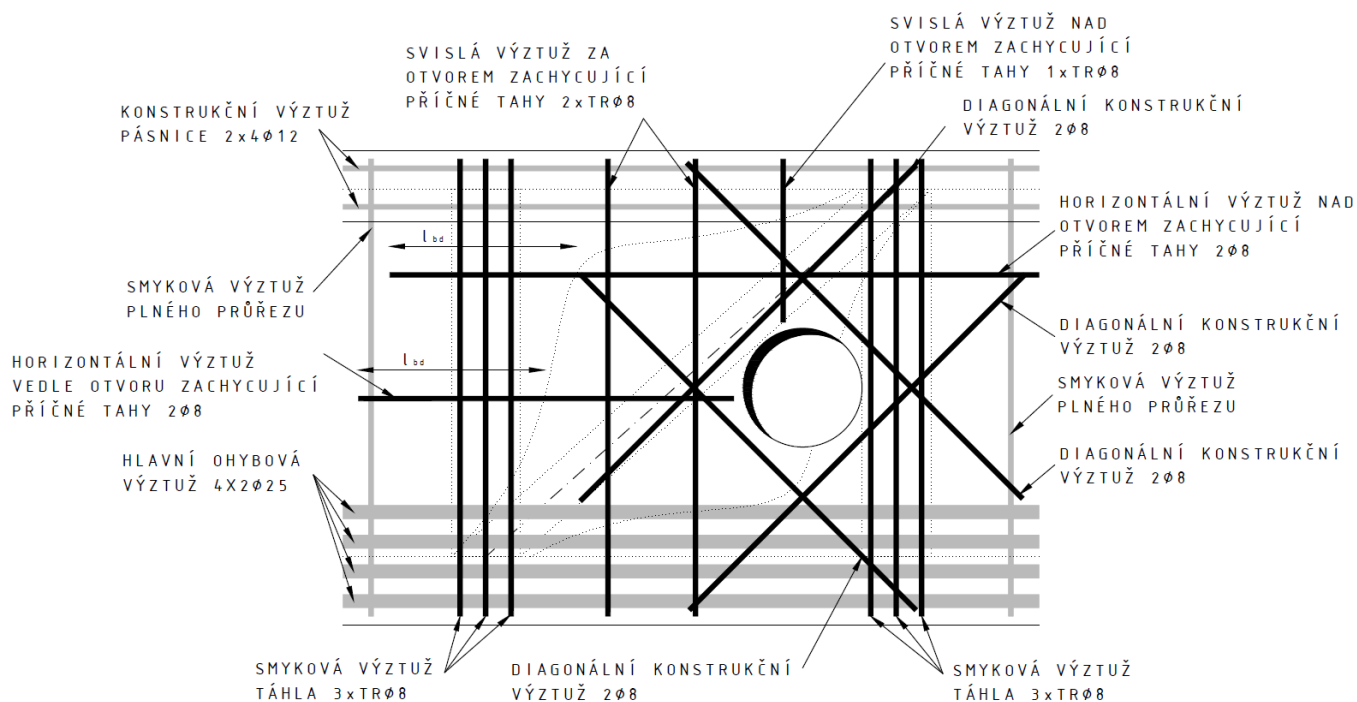
Výztuž zachycující příčné tahy se musí dostatečně zakotvit, aby byla zajištěna její řádná funkce a nedošlo k jejímu vytržení z betonu. V posledním kroku je proto nezbytné stanovit oblast (Obr.3), kde vznikají příčné tahy a výztuž zatáhnout na kotevní délku od hranice této oblasti.



Obr. 3 Schéma oblasti příčných tahů kolem betonové vzpěry

$$b_{\text{eff}} = 0,5 \cdot \left( \frac{z}{\sin \alpha} \right) + 0,65 \cdot c_1 = 0,5 \cdot \left( \frac{628}{\sin 42,8^\circ} \right) + 0,65 \cdot 84 = 517 \text{ mm}$$

Kolem prostupu je nutné doplnit konstrukční diagonální výztuž - šikmé příložky, které redukují rozvoj diagonálních trhlin v tažených částech prostupu [5]. Profil a množství výztuže zvolíme s ohledem na velikost napětí v posuzovaném průřezu podle inženýrského citu.



Obr. 4 Schéma vyztužení oblasti kolem otvoru

## Reference

- [1] Kohoutková A, Procházka J, Šmejkal J. 2013. Modelování a vyztužování betonových prvků. Lokální modely železobetonových konstrukcí. Praha: České vysoké učení technické.
- [2] El-Metwally S, Chen W. 2017. Structural Concrete: Strut-and-Tie Models for Unified Design. CRC Press.
- [3] Williams Ch, Deschenes D, Bayrak O. 2012. Strut-and-Tie Model Design Examples for Bridges. (Final Report). Center for Transportation Research.
- [4] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006.
- [5] Šmejkal J, Procházka J. 2010. Navrhování prostupů nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny: Design of openings in beams using strut-and-tie models. Beton - Technologie, Konstrukce, Sanace 10:48-56.

